

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326029

NUMERICAL OPTIMIZATION OF CONTROL STRATEGIES FOR COUPLED VIBRATIONAL SYSTEMS (p. 6–13)**Kamil Mamtiyev**Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-6085>**Ulviyya Rzayeva**Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5881-6633>**Rena Mikayilova**Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3209-5692>

The study examines the numerical solution of vibration control problems in a coupled system consisting of two interacting objects. The problem is solved under the assumption that the left boundary of the distributed system is fixed, while an object with lumped parameters is attached to the right boundary, where a boundary control action is also applied to the distributed system. Special attention is given to obtaining a numerical solution to the problem. The solution is approached using two methods: the gradient projection method and, due to the linearity of the boundary problem concerning phase coordinates and control inputs, the method of successive approximations. By introducing an additional variable, the one-dimensional wave equation is approximated using the method of lines, transforming it into a system of ordinary differential equations of the $2n$ -th order. The resulting variational problem for the system with lumped parameters is then numerically solved based on Pontryagin's maximum principle. The approximately optimal controls, obtained using the gradient projection method with a specially chosen step size, form a minimizing sequence of controls. Based on the numerical results, functional convergence is established. The method of successive approximations provides an optimal control solution as early as the second iteration, regardless of the initial control. This demonstrates the method's efficiency and reliability for solving linear optimal control problems. The developed numerical techniques can be applied to optimize the dynamic behavior of complex mechanical structures, enhance system stability, and improve operational efficiency in various engineering applications.

Keywords: Pontryagin's maximum principle, wave equation, method of straight lines, functional convergence.

References

1. Fagerholt, K., Psaraftis, H. N. (2015). On two speed optimization problems for ships that sail in and out of emission control areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 39, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.06.005>
2. Entner, D., Fleck, P., Vosgien, T., Münzer, C., Finck, S., Prante, T., Schwarz, M. (2019). A Systematic Approach for the Selection of Optimization Algorithms including End-User Requirements Applied to Box-Type Boom Crane Design. *Applied System Innovation*, 2 (3), 20. <https://doi.org/10.3390/asi2030020>
3. Alharbi, F., Luo, S., Zhang, H., Shaikat, K., Yang, G., Wheeler, C. A., Chen, Z. (2023). A Brief Review of Acoustic and Vibration Signal-Based Fault Detection for Belt Conveyor Idlers Using Machine Learning Models. *Sensors*, 23 (4), 1902. <https://doi.org/10.3390/s23041902>
4. Okba, A. C., Salah, K. (2022). Analytical and numerical-graphical optimization of dynamic vibration absorber based on two-fixed point theory. *International Journal of Mechanics and Control*, 22.
5. Fayyaz, Bashmal, S., Nazir, A., Khan, S., Alofi, A. (2025). Damping Optimization and Energy Absorption of Mechanical Metamaterials for Enhanced Vibration Control Applications: A Critical Review. *Polymers*, 17 (2), 237. <https://doi.org/10.3390/polym17020237>
6. Lariviere, O., Chadeaux, D., Sauret, C., Thoreux, P. (2021). Vibration Transmission during Manual Wheelchair Propulsion: A Systematic Review. *Vibration*, 4 (2), 444–481. <https://doi.org/10.3390/vibration4020029>
7. Alba, E., Blum, C., Isasi, P., León, C., Gómez, J. A. (Eds.) (2008). *Optimization Techniques for Solving Complex Problems*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470411353>
8. Poley, R. (2020). *Control Theory Fundamentals*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
9. Rodriguez-Loya, J., Lerma, M., Gardea-Torresdey, J. L. (2023). Dynamic Light Scattering and Its Application to Control Nanoparticle Aggregation in Colloidal Systems: A Review. *Micromachines*, 15 (1), 24. <https://doi.org/10.3390/mi15010024>
10. Omar, N., Serra-Capizzano, S., Qaraad, B., Alharbi, F., Moaaz, O., Elabbasy, E. M. (2024). More Effective Criteria for Testing the Oscillation of Solutions of Third-Order Differential Equations. *Axioms*, 13 (3), 139. <https://doi.org/10.3390/axioms13030139>
11. Mamtiyev, K., Rzayeva, U. (2024). Finding and implementing the numerical solution of an optimal control problem for oscillations in a coupled objects system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (128)), 64–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301714>
12. Liu, H., Cui, S., Liu, Y., Ren, Y., Sun, Y. (2018). Design and Vibration Suppression Control of a Modular Elastic Joint. *Sensors*, 18 (6), 1869. <https://doi.org/10.3390/s18061869>
13. Ram, Y. M., Inman, D. J. (1999). Optimal control for vibrating systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 13 (6), 879–892. <https://doi.org/10.1006/mssp.1999.1239>
14. Zhang, J. F. (2002). Optimal control for mechanical vibration systems based on second-order matrix equations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 16 (1), 61–67. <https://doi.org/10.1006/mssp.2001.1441>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326092

CREATION OF THE GENERATIVE MODEL OF A SCALE-FREE NETWORK WITH HOMOPHILIC STRUCTURE (p. 14–22)**Vadim Shergin**Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4388-8180>**Sergei Grinyov**Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0797-193X>**Larysa Chala**Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-4790>

Serhii UdovenkoSemyon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5945-8647>

The object of this study is the models of complex networks. The task addressed is to construct a generative model of a growing network, which has two key features characteristic of real-world networks: scale-free property and homophily. Homophily of a network is understood as the tendency of nodes to group into communities. To combine the requirements for homophily and scale-free property, a two-level rule of preferential attachment has been devised. First, the color of a new node is chosen with a probability proportional to the volume of the corresponding community, and then, according to the usual rule of preferential attachment, neighboring nodes are chosen within the community. It has been shown that the computational complexity of generating a network model with n nodes is $O(n)$. It has been proven that under such conditions, the distribution of degrees of nodes across the entire network is the same as in the classical non-homophilic Barabási-Albert network and does not depend on the number and structure of communities. Under the conditions of homophily, it is quite natural to generalize the requirement for scale-free property to the distribution of community sizes. It has been found that this distribution is determined by the intensity of the formation of new communities. The dependence of the expected time interval between the formations of successive communities on their index has been established. The measure of homophily of the generated networks – modularity – has been estimated; its dependence on the scaling of the community volumes was found. The model built allows step-by-step generation of growing scale-free networks that have a built-in mechanism for the formation of communities, which is of practical significance. Moreover, the proposed model could also be used in the opposite direction: given the structural parameters of the network, it is possible to restore the hidden rules by which this network evolves.

Keywords: scale-free property, homophily, modularity, generative network models, node communities.

References

- Li, A., Li, J., Pan, Y. (2013). Homophily Networks – A Structural Theory of Networks. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.8295>
- Dorogovtsev, S. N., Mendes, J. F. F., Samukhin, A. N. (2000). Structure of Growing Networks with Preferential Linking. *Physical Review Letters*, 85 (21), 4633–4636. <https://doi.org/10.1103/physrevlett.85.4633>
- Newman, M. E. J. (2003). Mixing patterns in networks. *Physical Review E*, 67 (2). <https://doi.org/10.1103/physreve.67.026126>
- Mele, A. (2017). A Structural Model of Homophily and Clustering in Social Networks. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3031489>
- Choromański, K., Matuszak, M., Miękisz, J. (2013). Scale-Free Graph with Preferential Attachment and Evolving Internal Vertex Structure. *Journal of Statistical Physics*, 151 (6), 1175–1183. <https://doi.org/10.1007/s10955-013-0749-1>
- Newman, M. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics*, 46 (5), 323–351. <https://doi.org/10.1080/00107510500052444>
- Albert, R., Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74 (1), 47–97. <https://doi.org/10.1103/revmodphys.74.47>
- Noldus, R., Van Mieghem, P. (2015). Assortativity in complex networks. *Journal of Complex Networks*, 3 (4), 507–542. <https://doi.org/10.1093/comnet/cnv005>
- Shergin, V., Udovenko, S., Chala, L. (2020). Assortativity Properties of Barabási-Albert Networks. *Data-Centric Business and Applications*, 55–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43070-2_4
- Li, A., Li, J., Pan, Y. (2013). Community Structures Are Definable in Networks, and Universal in Real World. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.8294>
- Girvan, M., Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (12), 7821–7826. <https://doi.org/10.1073/pnas.122653799>
- Shergin, V., Grinyov, S., Chala, L., Udovenko, S. (2024). Network community detection using modified modularity criterion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (132)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318452>
- Shergin, V., Chala, L., Udovenko, S., Pogurskaya, M. (2020). Elastic Scale-Free Networks Model Based on the Mediaton-Driven Attachment Rule. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 291–295. <https://doi.org/10.1109/dsmp47368.2020.9204207>
- Raskin, L., Sira, O. (2021). Devising methods for planning a multifactorial multilevel experiment with high dimensionality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (113)), 64–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242304>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325102

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PROCESSING DIFFERENT TYPES OF DATA IN ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS (p. 23–31)

Qasim Abbood Mahdi

Al Taff University College, Karbala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6612-3511>**Andrii Shyshatskyi**

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>**Anastasiia Voznytsia**

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3767-7354>**Ganna Plekhova**

Kharkiv National Automobile and

Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6912-6520>**Serhii Shostak**

National University of Life and

Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1234-1024>**Ihor Tulenko**

Ivan Kozhedub Kharkiv National

Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2847-483X>**Ruslan Semko**

Ivan Kozhedub Kharkiv National

Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0966-8387>

Denys Zheliezniak

Signal and Cybersecurity Troops Command
of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7495-8395>

Alexander Momit

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8901-7006>

Mykhailo Sova

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4487-9099>

The object of the research is heterogeneous data circulating in organizational and technical systems. The subject of the research is the process of processing heterogeneous data. The problem addressed in the study is improving the responsiveness of heterogeneous data processing in organizational and technical systems while ensuring a specified level of reliability, regardless of the volume of data entering the system. The essence of the obtained results lies in the use of improved metaheuristic algorithms for processing heterogeneous data in combination with other approaches. The originality of the method lies in the use of additional improved procedures that allow for:

- accounting for the degree of influence of destabilizing factors affecting the processing of heterogeneous data in an organizational and technical system, which makes it possible to consider the elements of the system that provide the highest reliability in heterogeneous data processing;
- taking into account the initial speed of each agent in the swarm of the combined algorithm, which enables prioritization of the search in the corresponding search space (by elements and components of the organizational and technical system);
- optimizing the topology of heterogeneous data processing circulating in the organizational and technical system;
- considering the failed elements of the organizational and technical system that are unsuitable for heterogeneous data processing;
- taking into account the influence of destabilizing factors both during the initial placement of the agents in the swarm of the combined algorithm and during the processing of heterogeneous data circulating in the organizational and technical system;
- the ability to calculate the required number of computing resources that need to be engaged if the available computing resources are insufficient for performing calculations.

An example of the application of the proposed method in processing heterogeneous data within an operational grouping of troops (forces) demonstrated an improvement in decision-making responsiveness by 13–15 % due to the use of additional procedures and ensuring a decision reliability level of 0.9.

Keywords: metaheuristic algorithms, unimodal functions, multimodal functions, destabilizing factors, heterogeneous grouping.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreby Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Odarushchenko, E., Berezanska, K., Demianenko, H. (2023). Method of assessing the state of hierarchical objects based on bio-inspired algorithms. *Advanced Information Systems*, 7 (3), 44–48. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.06>
9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
10. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
11. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
12. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
13. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
14. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
15. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume produc-

tion systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>

16. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stonel, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 541. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
20. Litvinenko, O., Kashkevich, S., Shyshatskyi, A., Dmytrieva, O., Neronov, S., Plekhova, G. et al.; Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). Information and control systems: modelling and optimizations. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327111

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ANALYTICAL MODELING OF THE DYNAMICS OF RANDOM PROCESSES IN AN ASYMMETRIC MARKOV CHAIN (p. 32–46)

Victor Kravets

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4770-0269>

Valerii Domanskyi

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-0780>

Illia Domanskyi

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8819-410X>

Volodymyr Kravets

Ivano-Frankivsk Professional College of Lviv National Environmental University, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5043-1947>

The object of this study is the reliability of a military structure consisting of three separate autonomous units. The task to develop an algorithm has been solved by taking into account the exact analytical solution to Kolmogorov's differential equations, derived from the concept of harmonization of the mathematical description of models. The result of mathematical description harmonization manifests itself in the asymmetric structure of possible states of the system under study, consisting of three autonomous subsystems. The symmetric distribution of roots in the characteristic Kolmogorov equation on the complex plane in the ordered record of matrix tables and corresponding determinant tables has been revealed. The representation of the expanded formulas in the form of ordered tables makes it possible to adapt the algorithm to computer technologies

and reduce computational costs by 2–3 times compared to conventional methods of numerical integration.

The results were verified by testing the algorithm on the example of assessing the reliability of a military structure consisting of three separate autonomous units. The probabilities of possible states of the military structure were determined depending on the intensity of the flow of losses and the restoration of combat units. The derived abstract, dimensionless results regarding the probabilities of states were interpreted through the physically significant time factor of the combat-ready state of combat units and the military structure as a whole. The results of calculations, as well as the algorithm and the mathematical model, have been validated by using a time-invariant condition that relates the probability of the system's states.

Keywords: reliability of systems, Markov process, Kolmogorov equation, state probabilities, autonomous subsystems.

References

1. Igdalov, I. M., Kuchma, L. D., Polyakov, N. V., Sheptun, Yu. D. (2010). *Dinamicheskoe proektirovanie raket. Zadachi dinamiki raket i ih kosmicheskikh stupeney*. Dnipro: Izd-vo Dnepropetr. nac. un-ta, 264.
2. Kravets, V. V., Bass, K., Kravets, T., Tokar, L. (2015). Dynamic Design of Ground Transport With the Help of Computational Experiment. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*. Available at: <https://hal.science/hal-01305939/>
3. Hajek, B. (2015). *Random Processes for Engineers*. Cambridge University Press, 448. Available at: <https://hajek.ece.illinois.edu/Papers/randomprocJuly14.pdf>
4. Domanskyi, V., Domanskyi, I., Zakurdai, S., Liubarskyi, D. (2022). Development of technologies for selecting energy-efficient power supply circuits of railway traction networks. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (66)), 47–54. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263961>
5. Glushkov, V. M. (1980). *Fundamental'nye issledovaniya i tehnologiya programirovaniya*. *Programmirovaniye*, 2, 3–13.
6. Andrews, J. G., McLone, R. R. (1976). *Mathematical Modelling*. Butterworths, 260.
7. Van Tassel, D. (1978). *Program Style, Design, Efficiency, Debugging, and Testing*. Prentice Hall.
8. Ovchynnykov, P. P. (Ed.) (2004). *Vyshcha matematyka*. Ch. 2. Kyiv, 792.
9. Alpatov, A., Kravets, V., Kravets, V., Lapkhanov, E. (2021). Analytical modeling of the binary dynamic circuit motion. *Transactions on Engineering and Computing Sciences*, 9 (5), 23–32. <https://doi.org/10.14738/tmlai.95.10922>
10. Kravets, V. V., Kapitsa, M. I., Domanskyi, I. V., Kravets, V. V., Hryshechka, T. S., Zakurday, S. O. et al. (2024). Analytical Solution of Kolmogorov Equations for Asymmetric Markov Chains with Four and Eight States. *Mathematics and Computer Science: Contemporary Developments Vol. 10*, 140–162. <https://doi.org/10.9734/bpi/mcsd/v10/3410>
11. Pender, J. (2014). Nonstationary loss queues via cumulant moment approximations. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 29 (1), 27–49. <https://doi.org/10.1017/s0269964814000205>
12. Sadeghian, P., Han, M., Håkansson, J., Zhao, M. X. (2024). Testing feasibility of using a hidden Markov model on predicting human mobility based on GPS tracking data. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/21680566.2024.2336037>

13. Seabrook, E., Wiskott, L. (2023). A Tutorial on the Spectral Theory of Markov Chains. *Neural Computation*, 35 (11), 1713–1796. https://doi.org/10.1162/neco_a_01611
14. Chen, X., Li, L., Shi, Q. (2015). *Stochastic Evolutions of Dynamic Traffic Flow*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44572-3_3
15. Kravets, V., Kravets, V., Burov, O. (2016). *Reliability of Systems. Part 2. Dynamics of Failures*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 108.
16. Kravets, V. V., Bass, K. M., Kravets, V. V., Tokar, L. A. (2014). Analytical Solution of Kolmogorov Equations for Four-Condition Homogenous, Symmetric and Ergodic System. *Open Journal of Applied Sciences*, 04 (10), 497–500. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2014.410048>
17. Kravets, V., Kravets, V., Burov, O. (2021). Analytical Modeling of the Dynamic System of the Fourth Order. *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*, 9 (3), 14–24. <https://doi.org/10.14738/tmlai.93.9947>
18. Kravets, V., Kapitsa, M., Domanskyi, I., Kravets, V., Hryshechka, T., Zakurday, S. (2024). Devising an analytical method for solving the eighth-order Kolmogorov equations for an asymmetric Markov chain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (131)), 33–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.312971>
19. Kravets, V., Chibushov, Y. (1994). Method of Finding the Analytical Solution of the Algebraic Particular Aspect Equation. *Rzeszow*, 104–117.
20. Domanskyi, I. V. (2016). *Osnovy enerhoefektyvnosti elektrychnykh system z tiahovymy navantazhenniamy*. Kharkiv: TOV "Tsentr informatsiyi transportu Ukrainy", 224. Available at: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/oceesi.pdf
21. Bellman, R. (1997). *Introduction to Matrix Analysis*. SIAM. <https://doi.org/10.1137/1.9781611971170>
22. Sigorskiy, V. P. (1977). *Matematicheskiy apparat inzhenera*. Kyiv: Tehnika.
23. Ayyub, B., Mecuen, R. (1997). *Probability, statistics & reliability for engineers*. CRC Press, 663.
24. Korn, G., Korn, T. (1984). *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov*. Moscow: Nauka.
25. Vencel', E. S., Ovcharov, L. A. (2000). *Teoriya sluchaynykh processov i ee inzhenernye prilozheniya*. Moscow, 383.
26. Blehman, I. I., Myshkis, A. D., Panovko, Ya. G. (1983). *Mehanika i prikladnaya matematika. Logika i osobennosti prilozheniya matematiki*. Moscow: Nauka, 328.
27. Asmussen, S. (2008). *Applied Probability and Queues*. Springer Science & Business Media, 438. <https://doi.org/10.1007/b97236>
28. Yun, M., Qin, W., Yang, X., Liang, F. (2019). Estimation of urban route travel time distribution using Markov chains and pair-copula construction. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 7 (1), 1521–1552. <https://doi.org/10.1080/21680566.2019.1637798>
29. Suliankatchi Abdulkader, R., Deneshkumar, V., Senthamarai Kannan, K., Koyilil, V., Paes, A. T., Sebastian, T. (2021). An application of Markov chain modeling and semi-parametric regression for recurrent events in health data. *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, 8 (1), 68–80. <https://doi.org/10.1080/23737484.2021.1973926>
30. Ray, S. N., Bose, S., Chattopadhyay, S. (2020). A Markov chain approach to the predictability of surface temperature over the north-eastern part of India. *Theoretical and Applied Climatology*, 143 (1-2), 861–868. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03458-z>
31. Wigner, E. P. (1979). *Symmetries and Reflections: Scientific Essays*. Ox Bow Press, 280.
32. Elliott, J. P., Dawber, P. G. (1985). *Symmetry in physics: Principles and Simple Applications*. Vol. 1. Oxford University Press.
33. Myamlin, S. V., Kravec, V. V. (2003). Simmetriya matematicheskoy modeli i dostovernost' vychislitel'nogo eksperimenta. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*, 15, 339–340.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326468

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH FOR ASSESSING THE CONDITION OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS (p. 47–53)

Basem Abdullah Mohammed

Bilad Alrafidain University College, Diala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5745-0964>

Iraida Stanovska

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Svitlana Kashkevich

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

Andrii Lebedynskyi

Kharkiv National Automobile and

Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5086-8209>

Yuliia Vakulenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6315-0116>

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Oksana Klyuchak

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3422-3379>

Oleksandr Lastivka

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4754-259X>

Andrii Semeniuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National

Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7562-0528>

Oleksandr Kivshar

Ivan Kozhedub Kharkiv National

Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9727-7863>

In this study, the object of research is organizational and technical systems. The primary issue addressed is the enhancement of operational efficiency in assessing the state of such systems under constraints related to data reliability, regardless of the volume of incoming data acquired from information sources. The subject of the research is the process of evaluating the condition of organizational and technical systems. The study presents the development of a methodological approach for assessing the condition of complex organizational and technical systems. The originality of the proposed

approach lies in the implementation of advanced auxiliary procedures that enable the following:

- deployment of a search population of hippopotamus agents across the search plane, accounting for uncertainty in the information acquired through technical means about the organizational and technical system, by employing appropriate corrective coefficients. This enables a reduction in the time required for initial configuration of the subsystem responsible for processing heterogeneous data from extraction sources;
- additional consideration of the velocity of each agent within the hippopotamus swarm, allowing the prioritization of search tasks by each individual agent within the corresponding search space (across elements and components of the organizational and technical system);
- verification of the algorithm's convergence to local and global optima;
- replacement of ineffective search agents by refreshing the population of hippopotamus agents;
- implementation of deep learning mechanisms for the knowledge bases of the hippopotamus agent swarm;
- estimation of the required computational resources in cases where the available computational capacity is insufficient for performing the necessary calculations.

An illustrative example demonstrated a 13–16 % increase in decision-making efficiency due to the integration of additional procedures, while ensuring a decision reliability level of 0.9.

Keywords: hierarchical structures, metaheuristic algorithms, evolving artificial neural networks, destabilizing factors.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreby Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Odarushchenko, E., Berezanska, K., Demianenko, H. (2023). Method of assessing the state of hierarchical objects based on bio-inspired algorithms. *Advanced Information Systems*, 7 (3), 44–48. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.06>
9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
10. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
11. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
12. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
13. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
14. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
15. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
16. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprarchives-xl-2-w1-59-2013>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 202. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9>
20. Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). Information and control systems: modeling and optimizations. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328341

DETERMINATION OF AIR TRANSPORT SECURITY FACTORS VULNERABLE TO ACTS OF UNLAWFUL INTERFERENCE (p. 54–67)**Iryna Vysotska**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0646-2105>**Alla Valko**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0394-6304>**Svitlana Pron**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1177-9588>**Iryna Herasymenko**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4297-3973>**Fedir Vysotskyi**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2567-8147>

The object of research is air transport security system. The prerequisites for implementing security measures in air transport have been investigated. This is due to the fact that the most serious threat to the safety of air transport is unlawful interference acts (UIA), the commission of which is a crime and cannot be justified. Therefore, it is constantly necessary to promote the increase of efficiency in combating this evil at the global level.

Factors influencing the safety of the ATS components depending on the features of their functioning have been determined. For the "air transportation" ATS component the most vulnerable object is the airport, where the processes of the initial and final stages of the flight take place. For the "special purpose aviation" component of the ATS, the most vulnerable sector is aviation-chemical work in the agricultural sector. In this sector, aviation protects grain crops with chemicals. It has been found that pesticides can be a significant threat due to their use for the purpose of biochemical terrorism.

A mathematical model has been developed and implemented that reflects the dynamics of passenger flow through airport procedures. The dynamic distribution of airport resources for performing screening procedures both during normal operation and when operating under threat conditions was calculated. As a result, extreme cases of resource requirements were identified – for performing security checks lasting an average of 7 minutes per passenger. When the throughput is exceeded by 2 times, the need for the corresponding resources is 4.7 times greater than for performing security checks lasting an average of 3 minutes per passenger and with minimally sufficient process throughput to complete everything within the established time frame.

Keywords: airport security, unlawful interference acts, safety factors of aviation-chemical works, types of biochemical terrorism, airport screening procedures, airport resources, mathematical modeling.

References

1. Bugayko, D., Leshchynskyi, O., Sokolova, N., Zamiar, Z., Isaienko, V. (2019). Analysis of the aviation safety management system by fractal and statistical tools. *Logistics and Transport*, 44 (4), 41–60. <https://doi.org/10.26411/83-1734-2015-4-44-5-19>
2. Kharchenko, V., Bugayko, D., Antonova, A., Grigorak, M., Paweska, M. (2017). Theoretical Approaches for Safety Levels Measurements – Sequential Probability Ratio Test (SPRT). *Logistics and Transportation*, 2 (34), 25–31. Available at: <http://system.logistics-and-transport.eu/index.php/main/article/view/491/481>
3. Filippov, A. V. (2007). The Safety Of Civil Aviation As A Complex Concept. *Scientific Works of Kyiv Aviation Institute. Series Law Journal "Air and Space Law"*, 3 (4), 21–26. <https://doi.org/10.18372/2307-9061.4.9037>
4. Marintseva, K. V., Akmalidina, V. (2019). Organization of the air transportation in the conditions of a terrorist threat: a problem statement. *World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY"*, 12.17–12.21. Available at: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2018/paper/viewFile/5060/4221>
5. Global Aviation Security Plan (2017). ICAO, 32. Available at: https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-USAPCMA/Global_Aviation_Security_Plan_November_2017_en.pdf
6. Rodrigues, C. C. (2021). Aviation Safety: Commercial Airlines. *International Encyclopedia of Transportation*, 90–97. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102671-7.10113-7>
7. Buhaiko, D., Kharazyshvili, Yu., Liashenko, V., Kvilinskyi, O. (2021). Systemnyi pidkhd do vyznachennia rivnia bezpeky staloho rozvytku aviatsiynoho transportu: indykatory, riven, zahrozy. *Zhurnal Yevropeiskoi ekonomiky*, 20 (1 (76)), 152–190. Available at: <http://jeej.wunu.edu.ua/index.php/ukjee/article/view/1523>
8. Valko, A., Soloviova, O., Volkovska, G., Herasymenko, I. (2021). Constructing a system of integrated management of aviation safety as a key element of airport service quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (112)), 13–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239168>
9. Kim, M. H., Park, J. W., Choi, Y. J. (2020). A Study on the Effects of Waiting Time for Airport Security Screening Service on Passengers' Emotional Responses and Airport Image. *Sustainability*, 12 (24), 10634. <https://doi.org/10.3390/su122410634>
10. Cherednichenko, K., Ivannikova, V., Sokolova, O., Ostroumov, I., Sushchenko, O., Averyanova, Y. et al. (2025). Modelling and Optimization of Airport Security Screening System with AnyLogic Simulation: A Case of Dublin Airport. *TRANSBALTICA XV: Transportation Science and Technology*, 381–397. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85390-6_36
11. Cherednichenko, K., Ivannikova, V., Sokolova, O., Yanchuk, M. (2023). Model of transport safety assessment in multimodal transportation systems. *Transport*, 38 (4), 204–213. <https://doi.org/10.3846/transport.2023.20865>
12. Sokolova, O., Cherednichenko, K., Ivannikova, V. (2023). Mathematical Model of Airport Aviation Security. *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology*, 773–781. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_75
13. Yun, H. M., Kandyba, H. Yu. (2013). Faktory bezpeky silskohospodarskoi aviatsiyi. *Naukoiemni tekhnolohiyi*, 4, 462–466. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2013_4_22
14. Vysotska, I. I., Herasymenko, I. M., Kachalo, I. A. (2012). Rozvytok aviatsiyi spetspryznachennia yak skladovoi aviatransportnoi haluzi. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini*, 3 (130), 107–111. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2012_3_24

15. A Coordinated, Risk-based Approach to Improving Global Aviation Safety (2020). Available at: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2020_final_web.pdf
16. Quarterly Air Transport Chartbook. IATA Sustainability & Economics Q2 2023. Available at: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/quarterly-air-transport-chartbook/>
17. Pron, S., Soloviova, O., Herasymenko, I., Borets, I. (2020). Modeling of the transport and production complex in the growing of agricultural crops, taking into account the aviation component. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (104)), 30–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198742>
18. Global Outlook for Air Transport (2024). IATA. Available at: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/global-outlook-for-air-transport-june-2024-report/>
19. Besanko, D. A., Braeutigam, R. R. (2002). *Microeconomics: an integrated approach*. Wiley, 809.
20. Adrm Airport Development Reference Manual. IATA. Available at: <https://easypdfs.cloud/downloads/4922968-Adrm%20Airport%20Development%20Reference%20Manual>
21. Pro zatverdzhennia Instruktsiyi z otsinky rivnia zahrozy bezpetsi tsyvilnoi aviatsiyi Ukrainy. Nakaz M-va infrastruktury Ukrainy vid 17.06.2020 r. No. 356. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0960-20#Text>
22. Aviation Security Manual (Doc 8973 – Restricted). ICAO. Available at: <https://www.icao.int/Security/SFP/Pages/SecurityManual.aspx>
23. Zvit Holovy Derzhavnoi aviatsiynoi sluzhby Ukrainy za 2019 rik (2020). DASU, 18. Available at: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-avia.pdf
24. Aeroport Boryspil: onlain tablo, rozklad litakiv. Biznes Vizyt. Available at: <https://businessvisit.com.ua/uk/aviakvitki/online-tablo/aeroport-borispil/>

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326029

ЧИСЕЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРАТЕГІЙ КЕРУВАННЯ ЗВ'ЯЗАНИМИ КОЛИВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ (с. 6–13)

Kamil Mamtiyev, Ulviyya Rzaeva, Rena Mikayilova

Досліджено чисельне розв'язування задач контролю вібрації у зв'язаній системі, що складається з двох взаємодіючих об'єктів. Задача розв'язується в припущенні, що ліва межа розподіленої системи є фіксованою, а об'єкт із зосередженими параметрами приєднаний до правої межі, де до розподіленої системи також застосовується дія керування межею. Особливу увагу приділено отриманню чисельного розв'язку задачі. До розв'язання підходять два методи: метод градієнтної проекції та, внаслідок лінійності крайової задачі щодо фазових координат і керуючих входів, метод послідовних наближень. Введенням додаткової змінної одновимірне хвильове рівняння апроксимується методом ліній, перетворюючи його на систему звичайних диференціальних рівнянь $2n$ -го порядку. Отримана варіаційна задача для системи із зосередженими параметрами потім чисельно розв'язується на основі принципу максимуму Понтрягіна. Наближені оптимальні керування, отримані методом градієнтної проекції зі спеціально підібраним розміром кроку, утворюють мінімізуючу послідовність керування. На основі чисельних результатів встановлено функціональну збіжність. Метод послідовних наближень забезпечує оптимальне рішення керування вже на другій ітерації, незалежно від початкового керування. Це свідчить про ефективність і надійність методу для вирішення лінійних задач оптимального керування. Розроблені чисельні методи можуть бути застосовані для оптимізації динамічної поведінки складних механічних конструкцій, підвищення стабільності системи та підвищення ефективності роботи в різних інженерних додатках.

Ключові слова: принцип максимуму Понтрягіна, хвильове рівняння, метод прямих, функціональна збіжність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326092

РОЗРОБКА ГЕНЕРАТИВНОЇ МОДЕЛІ БЕЗМАСШТАБНОЇ МЕРЕЖІ З ГОМОФІЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ (с. 14–22)

В. Л. Шергін, С. А. Гриньов, Л. Е. Чала, С. Г. Удовенко

Об'єктом досліджень є моделі складних мереж. Розглядається проблема створення генеративної моделі зростаючої мережі, яка має дві ключові властивості, характерні для мереж реального світу: безмасштабність та гомофільність. Під гомофільністю мережі мається на увазі тяжіння вузлів до групування у спільноті. Для суміщення вимог щодо гомофільності та безмасштабності було розроблено дворівневе правило переважного приєднання вузла до мережі. Згідно з ним спочатку обирається колір нового вузла з ймовірністю, пропорційною до обсягу відповідної спільноти, а потім за звичайним правилом переважного приєднання серед спільноти обираються вузли-сусіди. Показано що обчислювальна складність генерації моделі мережі з n вузлів становить $O(n)$. Доведено, що розподіл степенів вузлів всієї мережі є таким же, як у класичній негомофільній мережі Barabási-Albert та не залежить від кількості та структури спільнот. За умов гомофільності, цілком природним є узагальнення вимоги щодо безмасштабності на розподіл розмірів та обсягів спільнот. Визначено, що зазначений розподіл визначається інтенсивністю утворення нових спільнот. Знайдено залежність очікуваного часового інтервалу між утворенням послідовних спільнот від поточної їх кількості, яка забезпечує безмасштабність розмірів спільнот з заданим показником скейлінгу. Оцінено міру гомофільності генерованих мереж – модулярність та визначено характер її залежності від скейлінгу обсягу спільнот. Створена модель дозволяє покроково генерувати зростаючі безмасштабні мережі, які мають вбудований механізм утворення спільнот, що має практичну значущість. Більше того, розроблена модель може бути використана й у зворотному напрямку: за заданими структурними параметрами мережі можна відновити приховані правила, за якими відбувається еволюція мережі.

Ключові слова: безмасштабність, гомофільність, модулярність, складні мережі, спільноти вузлів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325102

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (с. 23–31)

Qasim Abbood Mahdi, A. B. Шишацький, А. С. Возниця, Г. А. Плехова, С. В. Шостак, І. М. Туленко, Р. М. Семко, Д. І. Железняк, О. С. Моміт, М. В. Сова

Об'єктом дослідження є різномісцеві дані, що циркулюють в організаційно-технічних системах. Предметом дослідження є процес обробки різномісцевих даних. Проблемою, яка вирішується в дослідженні, є підвищення оперативності обробки різномісцевих даних в організаційно-технічних системах при забезпеченні заданої достовірності незалежно від обсягів даних, які надходять на її вхід. Сутність отриманих результатів полягає у використанні удосконалених метаевристичних алгоритмів для обробки різномісцевих даних з комбінуванням з іншими підходами. Оригінальність методу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

- врахуванням ступеню впливу дестабілізуючих факторів, які впливають на обробку різномісцевих даних в організаційно-технічній системі, чим дозволяється врахувати елементи організаційно-технічної системи, які мають найбільшу достовірність обробки різномісцевих даних;
- враховувати початкову швидкість кожного з агентів зграї комбінованого алгоритму, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку (по елементам і складовим частинам організаційно-технічної системи);
- можливістю оптимізувати топологію обробки різномісцевих даних, що циркулюють в організаційно-технічній системі;
- врахуванням виведених з ладу елементів організаційно-технічної системи, які не придатні для обробки різномісцевих даних;
- врахуванням впливу дестабілізуючих факторів як при початковому розставленні агентів зграї комбінованого алгоритму так і в процесі обробки різномісцевих даних, які циркулюють в організаційно-технічній системі;

– можливість розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі обробки гетерогенних даних в оперативному угрупованні військ (сил), який показав підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 13–15 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Ключові слова: метаевристичні алгоритми, унімодальні функції, мультимодальні функції, дестабілізуючі фактори, різномірне угруповання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327111

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АНАЛІТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ В АСИМЕТРИЧНОМУ ЛАНЦЮГУ МАРКОВА (с. 32–46)

В. В. Кравець, В. Т. Доманський, І. В. Доманський, Вл. В. Кравець

Об'єктом дослідження є надійність військової структури, що складається з трьох окремих автономних підрозділів. Вирішується проблема створення алгоритму з урахуванням точного аналітичного рішення диференціальних рівнянь Колмогорова, отриманого з концепції гармонізації математичного опису моделей. Результат гармонізації математичного опису відбивається в асиметричній структурі можливих станів досліджуваної системи, що складається з трьох автономних підсистем. Виявлено симетричний розподіл коренів характеристичного рівняння Колмогорова на комплексній площині у впорядкованому записі таблиць-матриць і відповідних таблиць-визначників. Виклад розгорнутих формул у вигляді впорядкованих таблиць дозволяє забезпечити алгоритму адаптивність до комп'ютерних технологій та зменшити обчислювальні витрати у 2–3 рази порівняно з традиційними методами чисельного інтегрування.

Верифікація отриманих результатів проведена шляхом апробацій алгоритму на прикладі оцінки надійності військової структури, що складається з трьох окремих автономних підрозділів. Визначаються ймовірності можливих станів військової структури залежно від інтенсивності потоків втрат та відновлення бойових підрозділів. Отримані абстрактні, безрозмірні результати ймовірностей станів інтерпретуються через фізично значущий фактор часу боездатного стану бойових підрозділів та військової структури в цілому. Верифікація результатів розрахунків, алгоритму, математичної моделі проводиться з допомогою інваріантної щодо часу умови, що пов'язує ймовірність станів системи.

Ключові слова: надійність систем, Марківський процес, рівняння Колмогорова, ймовірності станів, автономні підсистеми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326468

РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ З ОЦІНКИ СТАНУ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (с. 47–53)

Basem Abdullah Mohammed, І. І. Становська, С. О. Кашкевич, А. В. Лебединський, Ю. В. Вакуленко, Н. М. Протас, О. М. Ключак, О. І. Ластівка, А. М. Семенюк, О. А. Ківшар

В дослідженні об'єктом є організаційно-технічні системи. Проблема, що вирішувалася в дослідженні, – підвищення оперативності оцінки стану організаційно-технічних систем при обмеженнях на достовірність незалежно від обсягів добутих даних, які надходять на її вхід від джерел інформації. Предмет дослідження – процес оцінки стану організаційно-технічних систем. У дослідженні проведено розробку методичного підходу з оцінки стану складних організаційно-технічних систем. Оригінальність методичного підходу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

– виставити пошукову популяцію агентів бегемотів на площині пошуку з урахуванням невизначеності про інформацію, яка добувається технічними засобами про організаційно-технічну систему, за рахунок використання відповідних корегувальних коефіцієнтів. Зазначене дозволяє скоротити час на початкове налаштування підсистеми обробки різнотипних даних з добувних джерел;

– додатково враховувати швидкість кожного з агентів зграї бегемотів, що дозволяє визначати пріоритетність пошуку кожним агентом бегемотом у відповідній площині (по елементам і складовим частинам організаційно-технічної системи);

– перевірити попадання алгоритму у локальні та глобальні оптимуми;

– проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення популяції агентів бегемотів;

– проводити глибоке навчання баз знань агентів зграї бегемотів;

– розрахувати необхідну кількість обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

Приклад показав підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 13–16 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Ключові слова: ієрархічні структури, метаевристичні алгоритми, штучні нейронні мережі, що еволюціонують, дестабілізуючі фактори.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328341

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ БЕЗПЕКИ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ, ВРАЗЛИВИХ ДО АКТИВ НЕЗАКОННОГО ВТРУЧАННЯ (с. 54–67)

І. І. Висоцька, А. М. Валько, С. В. Пронь, І. М. Герасименко, Ф. Є. Висоцький

Об'єктом дослідження є система безпеки на авіаційному транспорті. Досліджено передумови здійснення заходів безпеки на авіаційному транспорті. Це викликано тим, що найсерйознішою загрозою безпеці авіаційного транспорту є акти незаконного втручання (АНВ), здійснення яких є злочином і не можуть бути виправданими. Тому постійно необхідно сприяти підвищенню ефективності по боротьбі з цим злом на глобальному рівні.

Визначено фактори впливу на безпеку складових елементів АТС залежно від особливостей їх функціонування. Для складової АТС «авіаційні перевезення» самим вразливим об'єктом є аеропорт, в якому відбуваються процеси початкових та кінцевих етапів

виконання рейсу. Для складової АТС «авіація спецпризначення» самим вразливим сектором є авіаційно-хімічні роботи в аграрному секторі. У цьому секторі авіацією виконується захист зернових культур хімічними засобами. З'ясовано, що пестициди можуть бути суттєвою загрозою через використання їх з метою біохімічного тероризму.

Розроблено та реалізовано математичну модель, яка відображає динаміку руху потоку пасажирів через процедури в аеропорту. Розраховано динамічний розподіл ресурсів аеропорту для виконання процедур перевірок як при звичайній роботі, так і при роботі в умовах дії загроз. В результаті визначено крайні випадки потреби у ресурсах – для виконання перевірок на безпеку тривалістю у середньому 7 хвилин на одного пасажирів. При перевищенні пропускної здатності у 2 рази потреба у відповідних ресурсах у 4,7 рази більша, ніж для виконання перевірок на безпеку тривалістю у середньому 3 хвилини на одного пасажирів і при мінімально достатній пропускній здатності процесу провести все у встановлені часові рамки.

Ключові слова: безпека аеропорту, акт незаконного втручання, фактори безпеки авіаційно-хімічних робіт, види біохімічного тероризму, процедури перевірок в аеропорту, ресурси аеропорту, математичне моделювання.